

Hiroshima Lab.

**[奨励講演] 近隣ノードの移動履歴情報を用いた
 位置推定手法の現実的環境における評価**

野村崇志, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 舜夫
 大阪大学 大学院情報科学研究科

MoMuC 5月沖縄研究会

Hiroshima Lab.

発表概要

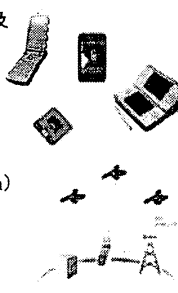
- アドホックネットワークにおけるモバイル端末向けの位置推定手法を提案
 - 現在の推定位置だけでなく、過去一定期間の推定位置の集合(移動履歴)を、隣接ノード間で繰り返し交換・修正
 - 対象
 - ランドマーク: 無線基地局など、低密度
 - ノード: 近距離無線通信端末を保持する歩行者
常に隣接ノードが複数存在
 - 目標
 - ノードの移動軌跡を GPS と同精度以上の精度で推定
- より現実を意識したマップやノードモビリティで評価

MoMuC 5月沖縄研究会

Hiroshima Lab.

背景

- 様々なモバイル通信端末の普及
 - 携帯電話, RFID, etc...
- 位置情報サービスへの期待
 - ルート案内, 子供見守りサービス
 - 商品管理
- GPS (Global Positioning System)
 - 一般的な位置情報を得る手段
 - 受信機の電力消費が大きい
 - 屋内・地下などでは機能しない

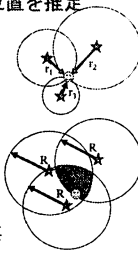


MoMuC 5月沖縄研究会

Hiroshima Lab.

既存手法

- 正確な位置情報を発信するノード(ランドマーク)の位置を基準に、無線通信を利用して位置を推定
- レンジベース
 - ランドマークとの距離・角度などから推定
 - GPS
 - 人工衛星からの信号の到達時間から測距
 - 高精度だがデバイスのコストも大きい
- レンジフリー
 - コネクティビティ情報のみ使用
 - 一般的な通信デバイスのみで利用可能
 - 低コストだが位置の特定には工夫が必要



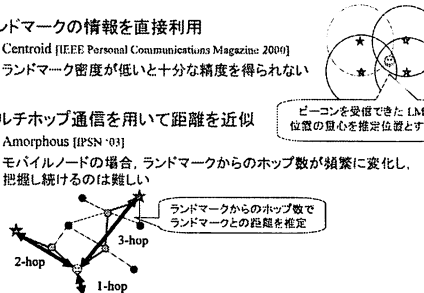
MoMuC 5月沖縄研究会

Hiroshima Lab.

レンジフリー手法の例 その1

- ランドマークの情報を直接利用
 - Centroid [IEEE Personal Communications Magazine 2000]
 - ランドマーク密度が低いと十分な精度を得られない
- マルチホップ通信を用いて距離を近似
 - Amorphous [IPSN '03]
 - モバイルノードの場合、ランドマークからのホップ数が頻繁に変化し、把握し続けるのは難しい

ビーコンを受信できた LM 位置の重心を推定位置とする



MoMuC 5月沖縄研究会

Hiroshima Lab.

レンジフリー手法の例 その2

- ノード間で推定位置を交換 & 逐次修正
 - Sextant [MobiCom 2005]
 - 正確だが領域の表現に必要なデータ量が增大
 - ノードの移動を考慮していない
- ノードの移動性を考慮
 - MCL (Monte-Carlo Localization) [MobiCom '04]

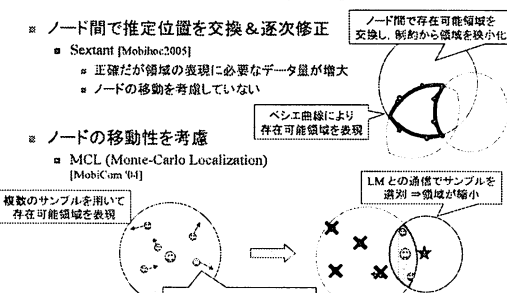
ノード間で存在可能領域を交換し、制約から領域を狭小化

ベジエ曲線により存在可能領域を表現

LM との通信でサンプルを識別 ⇒ 領域が縮小

複数のサンプルを用いて存在可能領域を数値

サンプルは速度 $v < v_{max}$ でランダム移動 ⇒ 領域が拡大



MoMuC 5月沖縄研究会

提案手法のアプローチ

1. 一定時間毎に自分の推定移動履歴を発信

2. 受信した他端末の推定移動履歴を用いて自分の推定移動履歴を修正

- 他端末との過去の位置関係による制約に基づき、過去の位置も修正
- 最大速度から定まる移動可能距離により、過去～現在の位置関係も制約

⇒ 従来より正確な現在位置および移動軌跡が求まる

MeMuC 5月沖縄研究会

移動履歴の位置制約

あるノードの推定移動履歴に対する位置制約は、

- 受信した他ノードの推定移動履歴との間で、
 - 通信できた時刻の互いの距離 \leq 無線到達距離 R_{max} (避過制約)
 - 通信できなかった時刻の互いの距離 $>$ 無線到達距離 R_{max} (非避過制約)
- ある時刻 t の推定位置が、
 - 前の時刻 $t-T$ の位置との距離 $<$ $V_{max} \cdot T$
 - 次の時刻 $t+T$ の位置との距離 $<$ $V_{max} \cdot T$ (移動制約)

* T: メッセージ送信間隔

力学的モデルに基づくヒューリスティックにより解決

MeMuC 5月沖縄研究会

力学的モデルによる解決

- 推定移動履歴の各時刻の推定位置に対して、
 - 満たしていない各制約について、制約を満たせるような方向への引力・斥力が働くものと見立てる
- 力学的エネルギーの総和が最小になるように、繰り返し位置を修正
- 多くの制約に対しても、短時間で解を導出可能
- 複数の制約間に矛盾がある場合でも、可能な限り制約を満たした位置が求まる

MeMuC 5月沖縄研究会

制約のモデル化

隣接ノードとの距離 $> R_{max}$ ⇒ 距離に比例した引力

非隣接ノードとの距離 $< R_{max}$ ⇒ 距離に比例した斥力

前/後の時刻の位置との距離 $> V_{max} \cdot T$ ⇒ 距離に比例した引力

修正量 (m)

自身の移動履歴の各時刻について、全ての制約に対応する力を計算し、それらの合力に従い位置を修正

修正を数回繰り返すことで、制約を満たす位置を求める

MeMuC 5月沖縄研究会

推定移動履歴の修正例 (1/5)

手順

- 現在の位置の初期解を追加
- 制約に従い、各時刻での位置を修正

他ノードの移動履歴、前時刻までの推定移動履歴、通信できたことを示す、他ノードの移動履歴、前時刻までの移動履歴から予測

MeMuC 5月沖縄研究会

推定移動履歴の修正例 (2/5)

手順

- 現在の位置の初期解を追加
- 制約に従い、各時刻での位置を修正 1 回目

隣接ノードとの距離 $> R_{max}$ 、非隣接ノードとの距離 $< R_{max}$

R_{max} : 最大無線到達距離
 V_{max} : 最大移動速度

MeMuC 5月沖縄研究会

推定移動履歴の修正例 (3/5)

手順

- 現在の位置の初期解を追加
- 制約に従い、各時刻での位置を修正 2回目

隣接ノードとの距離 $> R_{max}$

非隣接ノードとの距離 $< R_{max}$

R_{max} : 最大半径到達距離
 V_{max} : 最大移動速度

MoMuC 5月沖縄研究会

推定移動履歴の修正例 (4/5)

手順

- 現在の位置の初期解を追加
- 制約に従い、各時刻での位置を修正 3回目

前後の時刻での位置の距離 $< V_{max} \cdot T$

R_{max} : 最大半径到達距離
 V_{max} : 最大移動速度

MoMuC 5月沖縄研究会

推定移動履歴の修正例 (5/5)

手順

- 現在の位置の初期解を追加
- 制約に従い、各時刻での位置を修正 4回目

各制約を満たした解が求まる

非隣接ノードとの距離 $< R_{max}$

前後の時刻での位置の距離 $< V_{max} \cdot T$

R_{max} : 最大半径到達距離
 V_{max} : 最大移動速度

MoMuC 5月沖縄研究会

間接伝播を利用した精度向上

- 自身の推定移動履歴に加え、保持している他ノードの推定移動履歴のうち、過去 nT 時間以内に発信されたものも同時に送信
 - 直接通信していないノードの推定移動履歴も取得できる
 - 非混雑制約として利用
 - 過去に一度通信したノードについても、過去に遭遇した時点より正確になった移動履歴を取得できる

例: $n=1$ の場合

更新時刻が $t-nT$ 以内のノード j の移動履歴も送信

MoMuC 5月沖縄研究会

ランドマークについて

- ランドマークは、自分の正確な位置(移動履歴)を、ノードと同様に一定の周期毎に送信
- ランドマークは自分の移動履歴を修正しないので、ノードの位置はランドマーク位置が基準になる

MoMuC 5月沖縄研究会

性能評価

- シミュレーション実験により、提案手法を評価
 - シミュレータでは推定過程を可視化
- 四通りのマップ・ノードモビリティ
 - 開空間マップ×RWPモデル
 - 開空間マップ×待ち合わせモデル
 - 大通りマップ×歩行流モデル
 - マンハッタンマップ×RSDモデル
- 都市部や屋内における人の動きを意識した環境

MoMuC 5月沖縄研究会

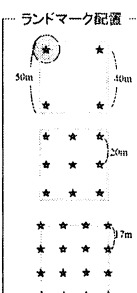
評価シナリオ1 - 開空間マップ×RWPモデル

■ 評価環境

- 領域: 50 x 50 m²の開空間マップ
- 移動モデル: Random WayPoint
 - ランダム位置への移動とランダム時間の静止を繰り返す
- ノード移動速度: [1.0, 2.0] m/s
- メッセージ送信周期 T: 1.0 s
- 送信移動履歴長: 過去 20 周期分
- 無線到達距離 R_{max}: 10 m (均一)

■ 評価項目

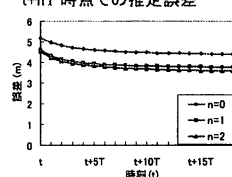
- 移動履歴の間接伝播の影響
- ランドマーク数/ノード数の影響
 - ランドマーク数: 4, 9, 16
 - ノード数: 25, 50, 100, 200
 - 概存手法の MCL と比較



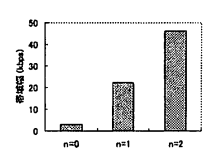
MoMuC 5月沖縄研究会

移動履歴の間接伝播の影響

■ 時刻 t の位置の、時刻 t, t+T, ..., t+nT 時点での推定誤差



■ 利用帯域幅



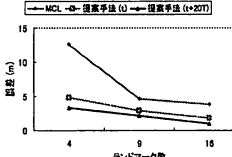
■ n=2 を規定値とする

MoMuC 5月沖縄研究会

ランドマーク数・ノード数の影響

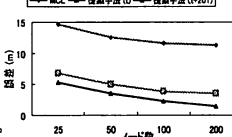
■ ランドマーク数

- ランドマークが少数のときも十分な精度を維持



■ ノード数

- ノード数が 25 のときでも誤差は 5 m (=0.5 × R_{max}) まで収束
- ※ノード数 25 ⇔ 平均密度: 1 ノード/100m² 平均隣接ノード数: 3.6



MoMuC 5月沖

評価シナリオ2 - 開空間マップ×待ち合わせモデル

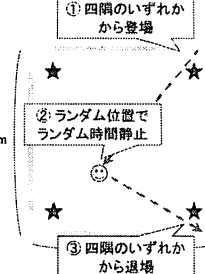
■ 目的

- 頻繁にノードが入れ替わる場合の影響を評価

■ 評価環境

- 領域: 50 x 50 m²の開空間マップ
- ノードモビリティ: 右図参照
- ノード移動速度: [1.0, 2.0] m/s
- メッセージ送信周期 T: 1.0 s
- 送信移動履歴長: 過去 10 周期分
- 無線到達距離 R_{max}: 10 m (均一)
- ノード数: 50
 - ノードがひとつ退場するたびに、新たなノードを追加

■ 三通りの静止時間で評価



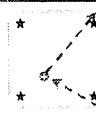
MoMuC 5月沖縄研究会

シナリオ2 - 結果

静止時間(s)	ノード交代率 (node/s)	平均静止ノード数	誤差 (m) t → t+20T
[0, 20]	0.79	12.8	4.9 → 4.1
[20, 50]	0.63	21.3	5.2 → 4.3
[50, 100]	0.43	30.4	5.4 → 4.4
(開空間マップ)	0	19.7	4.7 → 3.8

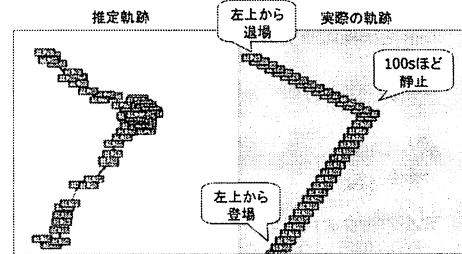
■ シナリオ1に近い精度で推定が行えている

- ノードの入れ替わりはほとんど影響ない



MoMuC 5月沖縄研究会

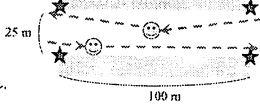
シナリオ2 - 推定された軌跡の例



MoMuC 5月沖縄研究会

評価シナリオ3 – 大通りマップ×歩行流モデル

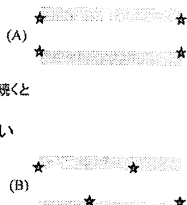
- 目的
 - 本目の道路を想定
 - ノードの移動する向きがある程度限定されている場合の影響を評価
- 評価環境
 - 領域：大通りマップ
 - 幅 25 m, 長さ 100 m
 - 移動モデル：
 - 道路のどちらか一方から現れ、他方へ移動
 - ノード移動速度：[1.0, 2.0] m/s
 - メッセージ送信周期 T：1.0 s
 - 送信移動履歴長：過去 10 周期分
 - 無線到達距離 R_{max} ：10 m (均一)
 - ノード数：50



MoMuC 5月沖崎研究会 27

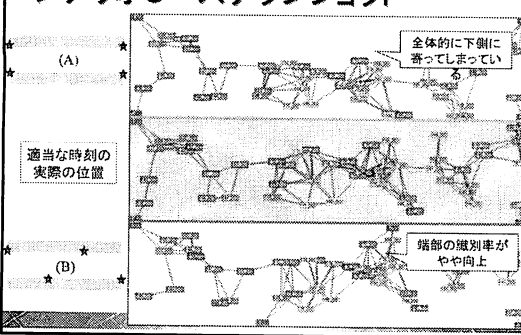
シナリオ3 – 結果

- 推定誤差
 - 5.8 m → 5.0 m (A) ★ ★
 - 進行方向に対して
 - 垂直な向きへの誤差が大きい
 - 対面からの集団と遭遇しない期間が続くと平行な向きへの誤差も拡大
 - 位置関係だけをみると比較的正しい
- LM 配置を (A) から (B) に (B) ★ ★
 - 推定誤差は 4.8 m → 3.6 m に



MoMuC 5月沖崎研究会 28

シナリオ3 – スナップショット



全体的に下側に寄ってしまっている

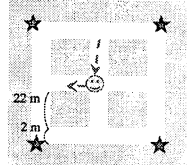
適切な時刻の実際の位置

端部の識別率がやや向上

MoMuC 5月沖崎研究会 29

評価シナリオ4 – マンハッタンマップ×RSD モデル

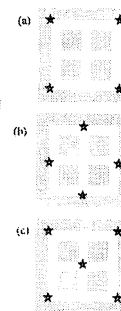
- 目的
 - 建物内の通路を想定
 - ノードの移動可能な領域・方向が限定されている場合の影響を評価
- 評価環境
 - 領域：マンハッタンマップ
 - 幅 2m, 長さ 48m の道路が 3 x 3 本
 - 移動モデル：Random Street Decision
 - 交差点に到着する度に、後方以外から進行方向をランダムに決定
 - ノード数：50
 - シナリオ 1, 2 と同程度のノード密度
- 三通りのランドマーク配置で評価



MoMuC 5月沖崎研究会 30

シナリオ4 – 結果


- 推定誤差
 - (a) 6.5 m → 5.6 m (b) 5.0 m → 3.6 m (c) 5.2 m → 3.7 m
 - リアルタイムに得られる推定位置の精度は開空間マップより悪い
 - 一定時間経過後に修正された後の推定位置の精度は、LM 配置したいでは同程度まで収束
- しかし軌跡を目で見比べると
 - (a), (c) が似たような形状に
 - (b) が角が丸まり一番似てない
 - ⇒ 推定誤差による評価と印象評価に食い違い
- また、ノードに障害物情報を与えて利用することで、より正確な位置・軌跡を推定可能と思われる




MoMuC 5月沖崎研究会 31

シナリオ4 – 軌跡の比較例

実際の軌跡



- 推定誤差は (a) より小さいが、推定された軌跡を比較すると、角部がうまくトレースできていないなど、(a) より悪く見える



MoMuC 5月沖崎研究会 32

まとめ

- モバイル端末向けの位置推定手法を提案
 - アドホック通信によりノード間で移動履歴を交換
 - 力学的モデルに基づき位置制約を満たす解を導出
 - シミュレーション実験から
 - 開空間マップにおいて、 $R_{max} = 10$ m に対して、 1 ノード/ 100 m^2 のノード密度で誤差 5 m まで収束
 - ノードの入れ替わりはほとんど影響ない
 - マップに対するランドマークの配置が精度に大きく影響

今後の課題

- 精度を維持しつつトラフィック量を削減
- より現実的な電波モデルによる評価
- 障害物情報の利用
- 推定誤差以外の定量的な評価指標を検討

- 実際の利用シナリオ案の検討
 - 市街地や複合商業施設内などで、友人の居場所を探索
 - イベント会場で、参加者の動向を調査

参考文献

- [1] A. Savvides, C.-C. Han and M. B. Srivastava: "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors", Proc. of MobiCom 2001, pp. 166-179 (2001).
- [2] R. Nagpal, H. Shrobe and J. Bachrach: "Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network", Proc. of IPSN 2003, pp. 333-348 (2003).
- [3] S. Guha, R. Murty and E. G. Sier: "Sextant: a unified node and event localization framework using non-convex constraints", Proc. of MobileLoc 2005, pp. 205-216 (2005).
- [4] L. Hu and D. Evans: "Localization for mobile sensor networks", Proc. of MobiCom 2004, pp. 45-57 (2004).
- [5] A. Uchiyama, S. Fujii, K. Maeda, T. Umedu, H. Yamaguchi and T. Higashino: "Ad-hoc localization in urban district", Proc. of IEEE INFOCOM Mini-Symposium, pp. 2306-2310 (2007).
- [6] P. A. Eades: "A heuristic for graph drawing", Congressus Numerantium, Vol. 42, pp. 149-160 (1984).
- [7] T. Kamada and S. Kawai: "An algorithm for drawing general undirected graphs", Inf. Process. Lett., 31, 1, pp. 7-15 (1989).
- [8] J. Broch, D. Maltz, D. Johnson, Y.-C. Hu and J. Jetcheva: "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols", Proc. of MobiCom 1998, pp.85-97 (1998).